

Systèmes pédagogiques adaptatifs : Etat de l'art et perspectives

Najlaa ZNIBER, Corine CAUVET

Laboratoire LSIS

Université Paul Cézanne Aix-Marseille 3

Campus Universitaire de St Jérôme

Avenue Escadrille Normandie Niemen

13397 MARSEILLE Cedex 20

znibern@lsis.org, corine.cauvet@lsis.org

Résumé : L'utilisation des technologies du Web dans le domaine de l'éducation permet d'envisager de nouvelles approches et de nouveaux contextes d'apprentissage. En effet, l'avènement du e-learning présente de nombreux intérêts. Toutefois, la qualité du service pédagogique rendu dépend de la capacité de ces nouvelles approches d'apprentissage à fournir aux apprenants, des contenus et des parcours pédagogiques adaptés à leurs besoins. Le développement de systèmes pédagogiques adaptatifs répond à cet objectif. Dans ce papier, nous proposons un cadre de référence permettant, de caractériser et de comparer les systèmes pédagogiques adaptatifs. Nous considérons qu'un système pédagogique adaptatif utilise trois types de connaissances : les connaissances sur les ressources pédagogiques, les connaissances sur les apprenants et les connaissances sur les processus d'apprentissage. Un système pédagogique adaptatif met aussi en œuvre des méthodes et des techniques d'adaptation pour construire des parcours individualisés en utilisant ces trois formes de connaissances. Sur la base des trois types de connaissance et des méthodes et techniques d'adaptation, nous comparons plusieurs systèmes existants et nous montrons leurs limites. Cette étude aboutit au constat que les systèmes pédagogiques adaptatifs sont fortement centrés sur la gestion de contenus pédagogiques et peu sur les processus. La prise en compte de ces processus constitue un enjeu majeur pour le développement des nouveaux systèmes pédagogiques adaptatifs.

Mots Clés : Apprentissage, Hypermédias adaptatifs, Scénario pédagogique, E-learning, Web sémantique.

1 INTRODUCTION

Depuis quelques années, de nombreuses solutions ont été mises en pratique dans le cadre de l'apprentissage à distance. La majorité de ces solutions privilégie une approche centrée sur la mise à disposition de ressources pédagogiques de qualité, souvent au

détriment de leur exploitation au sein de « scénarios pédagogiques » diversifiés. Face à ce constat, de nouvelles approches émergent. La qualité du service pédagogique rendu dépend, dès lors, de la capacité de ces nouvelles approches à fournir aux apprenants, d'une part, des contenus pédagogiques adaptés à leur profil et d'autre part, des processus qui les guident véritablement dans leur processus d'apprentissage. Les systèmes pédagogiques adaptatifs ont pour objectif de répondre à ce besoin.

Dans ce domaine de l'ingénierie pédagogique, une première problématique de recherche concerne la représentation des contenus pédagogiques. Un résultat essentiel a consisté à séparer deux niveaux de description : le niveau physique et le niveau pédagogique. Le niveau pédagogique est un niveau sémantique qui vise à exprimer les caractéristiques pédagogiques des ressources. La logique de partage et de large diffusion des ressources pédagogiques a fait émerger un autre besoin, celui de personnaliser la forme, le contenu et l'assemblage des ressources pédagogiques. Ce nouveau besoin a conduit à introduire dans les systèmes pédagogiques une nouvelle dimension, celle de l'utilisateur. Une troisième dimension doit être prise en compte dans l'ingénierie des systèmes pédagogiques, il s'agit des processus pédagogiques. Leur formalisation et leur gestion dans les systèmes adaptatifs devient essentielle si l'on veut proposer non seulement des contenus pédagogiques mais aussi des méthodes d'apprentissage adaptées aux objectifs pédagogiques de chaque apprenant.

Dans ce papier, nous étudions et comparons plusieurs systèmes pédagogiques adaptatifs, en utilisant un cadre de référence. Dans ce cadre de référence, nous considérons qu'un système pédagogique adaptatif est basé sur quatre composants : un modèle des ressources pédagogiques qui contient, à différents niveaux d'abstraction, la description des ressources pédagogiques proposées aux apprenants ; un modèle de l'apprenant qui décrit les différents types de

connaissances relatives aux apprenants ; et un modèle d'apprentissage qui définit les différentes méthodes et activités d'apprentissage mises en œuvre pour atteindre des objectifs. Les méthodes et les techniques d'adaptation assurent la construction de parcours individualisés en utilisant les trois modèles.

Toutes les approches étudiées n'utilisent pas obligatoirement ces quatre éléments. Par exemple, les approches issues du domaine des systèmes pédagogiques « intelligents » décrivent les processus d'apprentissage et peu le modèle de l'apprenant, alors que les approches issues du domaine des systèmes hypermédias adaptatifs ne prennent pas (ou peu) en compte le processus d'apprentissage et se concentrent sur le modèle de l'apprenant. Par ailleurs, les modèles des ressources pédagogiques peuvent être très différents dans leur contenu et dans leur forme d'une approche à une autre.

Le papier introduit, dans la section 2, le cadre de référence qui est utilisé pour décrire et comparer les différentes approches. La section 3 caractérise les modèles des ressources pédagogiques selon différents critères ; la section 4 présente les modèles de l'apprenant. Les différents modèles d'apprentissage utilisés sont décrits dans la section 5. La section 6 étudie les techniques d'adaptation mises en œuvre dans les différents systèmes. La section 7 contient une étude comparative des approches en utilisant le cadre de référence.

2 CADRE DE REFERENCE POUR L'ETUDE DES SYSTEMES PEDAGOGIQUES ADAPTATIFS

Il existe de nombreux systèmes d'apprentissage adaptatifs, issus de courants de recherche très différents. On peut dire qu'aujourd'hui, les recherches et développements en ingénierie des systèmes pédagogiques adaptatifs s'appuient essentiellement sur i) des travaux autour des systèmes hypermédias adaptatifs, ii) des théories sur les méthodes d'apprentissage, iii) des recherches sur le Web sémantique adaptatif.

Dans les systèmes hypermédias adaptatifs, les connaissances sur l'apprenant sont essentielles, il s'agit de son expérience, de son niveau de connaissance du domaine, de ses préférences en matière de méthodes pédagogiques... Les recherches dans ce domaine ont abouti d'une part, à des modèles utilisateur intégrant différentes formes de connaissance, et d'autre part à des techniques d'adaptation permettant de particulariser le contenu des documents avec des annotations, ou d'adapter la structure de navigation. Dans notre étude comparative, nous avons retenu le système KBS Hyperbook [Henze 2000] et le système ELM-ART [Brusilovsky 1996b] comme exemple.

De nombreuses recherches théoriques dans les domaines de la Psychologie, de l'Intelligence Artificielle et de l'Education ont influencé la conception des systèmes pédagogiques [Schneider 2003] [Rhéaume 1991]. Ces recherches ont permis

essentiellement de formaliser les méthodes d'apprentissage. De nombreux auteurs considèrent l'apprentissage comme un véritable processus dans lequel l'apprenant cherche à satisfaire des objectifs ou à résoudre des problèmes. L'activité d'apprentissage d'un domaine est alors considérée comme une activité guidée par des objectifs.

L'arrivée du Web et des technologies associées permet d'envisager l'utilisation de ressources pédagogiques qui sont distribuées et accessibles par Internet. Le Web sémantique est une extension du Web qui vise à enrichir les ressources disponibles sur le Web avec des descriptions sémantiques de leur contenu. Dans le domaine des objets pédagogiques, plusieurs modèles de description sont aujourd'hui proposés : SCORM [ADL 2001], LOM [LOM 2002] ou IMS [IMS 2002]. Il y a aujourd'hui un changement de centre d'intérêt des objets pédagogiques vers des services pédagogiques. Cette évolution montre la nécessité d'identifier de nouvelles formes de méta-données pour caractériser non seulement le contenu des ressources pédagogiques mais aussi les processus qui permettent de les utiliser dans différents contextes d'apprentissage. Afin de présenter une vision complète et unifiée des recherches existantes dans le domaine de la conception des systèmes pédagogiques adaptatifs, nous proposons un cadre de référence pour caractériser ce domaine. Aucune approche ne couvre la totalité de ce cadre de référence, en revanche chaque approche peut être intégrée dans ce cadre et peut être située par rapport à d'autres approches.

L'étude comparative est organisée autour de quatre dimensions. Chaque dimension est décrite par un ensemble de facettes. Les quatre dimensions retenues dans le cadre de référence correspondent aux principaux composants d'un système pédagogique adaptatif (Figure 1). **Le modèle des ressources pédagogiques** exprime la connaissance sur le sujet enseigné. Cette connaissance peut être décrite à différents niveaux d'abstraction et dans différentes formes. Nous distinguerons deux facettes pour caractériser les ressources pédagogiques, la facette « structure logique » et la facette « structure pédagogique ». **Le modèle de l'apprenant** définit les caractéristiques de l'apprenant. Toutes ces connaissances sont utilisées dans le cadre de la construction de parcours individualisés. Nous caractérisons le modèle de l'apprenant selon deux points de vue : la nature des connaissances sur l'apprenant et le mode de gestion du modèle de l'apprenant. **Le modèle d'apprentissage** spécifie à différents niveaux de détail les processus d'enseignement. En considérant que des processus différents peuvent être utilisés pour apprendre, un des objectifs des systèmes adaptatifs est de suggérer une démarche adaptée à chaque apprenant. Nous caractérisons le modèle d'apprentissage par deux facettes : le niveau d'abstraction auquel se situe la démarche d'apprentissage et l'approche de modélisation utilisée.

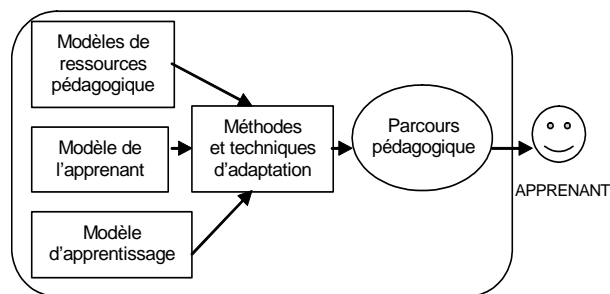


Figure 1 : Principaux composants d'un système pédagogique adaptatif

Les méthodes et techniques d'adaptation mises en œuvre sont utilisées pour générer des contenus et des parcours adaptés à l'apprenant. Il peut exister des « parcours types » adaptés à des « profils d'apprenant », l'adaptation peut aussi prendre la forme d'une génération de parcours statique ou dynamique. Nous distinguons les méthodes et les techniques pour caractériser l'adaptation.

3 LE MODELE DES RESSOURCES PEDAGOGIQUES

Un système pédagogique met à la disposition des apprenants des ressources pédagogiques. La description de ces ressources peut être faite sur deux niveaux d'abstraction distincts i) le niveau logique et ii) le niveau pédagogique. Tous les systèmes ne font pas forcément la différence entre ces deux niveaux. Par ailleurs, il existe toujours un niveau physique qui est celui des contenus exprimés dans un certain langage sous forme de fichiers informatiques. Ce niveau ne présente pas d'intérêt dans cette étude.

3.1 La facette « structure logique »

Au niveau logique, les ressources pédagogiques sont des unités d'information reliées entre elles qui peuvent agréger un ou plusieurs contenus. Une unité d'information est identifiée par un code unique (typiquement une URL) permettant sa localisation par une machine ou un homme. Plusieurs modèles de structuration logique ont été proposés dans le domaine des systèmes hypermédias. Le modèle DEXTER [Halasz 1994] constitue un modèle de référence dans lequel la structure logique (appelée « Storage Layer ») est constituée de composants qui peuvent être des éléments atomiques, des liens ou des éléments composites. Au niveau logique, il est usuel d'utiliser une typologie des ressources pédagogiques basée sur la forme de leur contenu. [Crozat 2002] propose 9 formes de contenus: texte écrit, texte parlé, bruitage, musique, image... Dans l'approche [Vassileva 1997], les unités d'information (appelées *teaching materials*) sont caractérisées par le type de média qu'elles utilisent mais aussi par un type pédagogique, ainsi sont distinguées les unités d'information de type « introduction à un concept », « exercice », « explication » ou « test ».

3.2 La facette « structure pédagogique »

La structure pédagogique est une description sémantique des ressources pédagogiques. Dans les

systèmes actuels, la structure pédagogique peut prendre différentes formes. Il peut s'agir de méta-données définies dans l'entête de chaque ressource ou bien d'un véritable modèle de domaine décrivant les ressources pédagogiques à un niveau conceptuel. L'approche méta-donnée a essentiellement pour objectif de standardiser la description des ressources dans un souci de partage et de réutilisation. Plusieurs travaux de normalisation sur les méta-données pour les ressources pédagogiques sont actuellement menés [Duval 2002]. Une autre approche consiste à décrire la structure pédagogique comme un modèle de domaine. Le domaine est celui du sujet d'enseignement. En général, ce modèle est un réseau de concepts et de liens. Il peut exister différents types de lien entre les concepts, par exemple les liens de type « pré-requis », « analogie ».... Le modèle proposé dans [Vassileva 1997] permet de représenter les concepts et les liens. Quatre types de liens sont proposés : agrégation, généralisation, analogie et implication. La structure pédagogique est un graphe ET/OU dans lequel il est possible d'exprimer que l'apprentissage d'un concept nécessite préalablement celui de plusieurs autres ou bien qu'il nécessite alternativement un concept ou un autre.

En général, dans cette approche, il existe des liens entre la structure logique et la structure pédagogique. L'approche modèle de domaine apporte une aide dans la démarche d'apprentissage puisqu'elle définit un ordre dans l'apprentissage des concepts, conduisant à des parcours bien précis à travers les ressources pédagogiques. En revanche, dans l'approche méta-données, la structure pédagogique est relativement indépendante de toute activité pédagogique.

4 LE MODELE DE L'APPRENANT

Dans les systèmes pédagogiques adaptatifs, le modèle de l'apprenant est essentiel pour la génération de parcours individualisés. Il s'agit de considérer les propriétés de l'apprenant auxquelles le système doit s'adapter. Ces propriétés peuvent être différentes d'un apprenant à un autre, et pour un même apprenant, elles peuvent varier au cours du temps. Au niveau des modèles de l'apprenant, il est important de distinguer un modèle adaptable d'un modèle adaptatif. Dans le premier cas, le modèle est modifié uniquement par l'utilisateur, dans le second cas, le modèle est modifié automatiquement par le système au fur et à mesure des interactions avec l'apprenant. Enfin, les modèles de l'apprenant peuvent être construits selon deux approches ; une approche « stéréotype », dans laquelle on considère des groupes d'apprenants ayant des caractéristiques communes, et une approche « individuelle » dans laquelle chaque apprenant est décrit avec ses propres caractéristiques. Le critère essentiel qui permet de classer les modèles de l'apprenant concerne la nature des connaissances qu'ils permettent d'exprimer. Le deuxième critère qui est utilisé porte sur les techniques d'initialisation et de gestion de ces modèles.

4.1 La facette « nature »

Ce critère permet de caractériser les types de connaissances qui sont représentées dans le modèle de l'apprenant. Il est usuel de considérer qu'un modèle de l'apprenant est composé de quatre sous-modèles, chaque sous-modèle correspondant à un type particulier de connaissance. **Le sous-modèle de la connaissance du domaine** : il définit les connaissances de l'apprenant relativement à la matière enseignée. Dans [Benyon 1993], trois niveaux de connaissance sont distingués, le niveau tâche, le niveau logique et le niveau physique. Le niveau tâche exprime les objectifs réalisés par l'usager sur la matière enseignée. Le niveau logique définit les connaissances de l'apprenant sur les concepts de la matière enseignée et le niveau physique correspond à la connaissance effective de l'apprenant. Dans [Ragnemalm 1995], une différence est faite entre la connaissance générale sur le domaine et la connaissance résultant de l'évaluation de la connaissance de l'apprenant. Cette connaissance est organisée par objectifs. **Le sous-modèle de l'expérience** : il s'agit des connaissances de l'apprenant qui sont indépendantes du domaine. Ces connaissances sont relatives aux sujets d'intérêt d'un apprenant, à sa culture, à son expérience... **Le sous-modèle des préférences** : il exprime les préférences de l'apprenant relatives à la forme de la présentation du cours mais aussi aux styles et aux méthodes d'enseignement. Par ailleurs, ce sous-modèle intègre en général aussi « les traits de personnalité » de l'apprenant : sa motivation, son degré de concentration... L'ensemble de ces connaissances ne peut pas être généré par le système mais doit être fourni par l'apprenant. Ainsi, ces connaissances jouent un rôle plus important dans les systèmes adaptables que dans les systèmes adaptatifs. **Le sous-modèle des "tâches"** : il s'agit d'une connaissance relative aux activités mises en œuvre effectivement par l'apprenant, au cours de sessions d'enseignement. Cette connaissance contextuelle est essentielle, elle explique pourquoi l'apprenant a réalisé certaines actions.

4.2 La facette « gestion »

Cette facette permet de caractériser les techniques d'acquisition et de mise à jour du modèle de l'apprenant. Il existe trois approches essentielles. Lorsque l'apprenant ou l'administrateur renseigne les différentes rubriques du modèle apprenant en utilisant par exemple un formulaire ou un questionnaire, il s'agit d'une approche statique. Ce type d'acquisition est utilisé pour les données qui n'évoluent pas en fonction des actions de l'apprenant. L'acquisition dynamique consiste à observer l'apprenant et à tracer ses activités et ses résultats. Dans ce cas, l'apprenant n'est pas sollicité et le modèle est mis à jour automatiquement en fonction de l'observation de l'apprenant. Le système Metadyne [Delestre 2000] par exemple, utilise des mécanismes d'inférence pour générer des connaissances sur l'apprenant. D'une manière générale, les systèmes tirent partie des deux approches. Cette approche mixte permet de bâtir un premier modèle

avec par exemple, des questionnaires à remplir lors de la première connexion, le modèle est ensuite mis à jour par le système en inférant de nouvelles valeurs en fonction du comportement de l'apprenant.

5 LE MODELE D'APPRENTISSAGE

Dans les systèmes pédagogiques adaptatifs, les recherches se sont surtout centrées sur les contenus pédagogiques et peu sur les démarches d'apprentissage. Pourtant, il existe plusieurs manières d'apprendre, et un système pédagogique adaptatif doit permettre d'adapter la démarche aux besoins de l'apprenant. Dans ces conditions la modélisation et la gestion des démarches d'apprentissage est essentielle. La modélisation des démarches d'apprentissage peut se faire à différents niveaux (stratégique, opérationnel...) et la manière de modéliser une démarche d'apprentissage peut être très différente d'une approche à une autre.

5.1 La facette « niveaux d'abstraction dans les démarches d'apprentissage »

Nous considérons qu'une démarche d'apprentissage peut être modélisée à différents niveaux d'abstraction correspondant à des niveaux de détails différents. En référence à [Allert 2002], quatre niveaux d'abstraction peuvent être identifiés (Figure 2).

Le quatrième niveau définit les processus d'apprentissage d'un point de vue stratégies d'enseignement. A ce niveau, il est usuel de distinguer les courants d'apprentissage tels que le courant « behavioriste », le courant « cognitiviste » et le courant « constructiviste ». Le troisième niveau définit des approches d'enseignements. Dans la pratique, les approches les plus utilisées sont l'apprentissage basé sur la résolution de problèmes, le raisonnement à base de cas, l'approche collaborative, l'approche par l'exposé... Le deuxième niveau définit les modèles opérationnels d'apprentissage. Il s'agit d'une structuration des processus d'apprentissage. Cette structuration conduit à une description du processus en plusieurs phases, mettant en évidence des cycles et des ordonnancements d'activités. Le premier niveau définit les activités et les contenus utilisés.

Ce cadre de modélisation permet de montrer d'une part, qu'il existe différents niveaux d'abstraction dans la modélisation des processus d'apprentissage et d'autre part, que les différents niveaux sont interdépendants. En effet, un choix, par exemple effectué en termes de stratégie d'apprentissage, contraint les niveaux inférieurs.

5.2 La facette « modèles de démarches »

Il existe plusieurs manières de modéliser une démarche d'apprentissage. Trois approches peuvent être utilisées : L'approche orientée activités consiste à décrire la démarche sous la forme d'un processus composé d'activités ou tâches qui peuvent être simples ou complexes. Dans les systèmes actuels, cette approche de modélisation est la plus répandue.

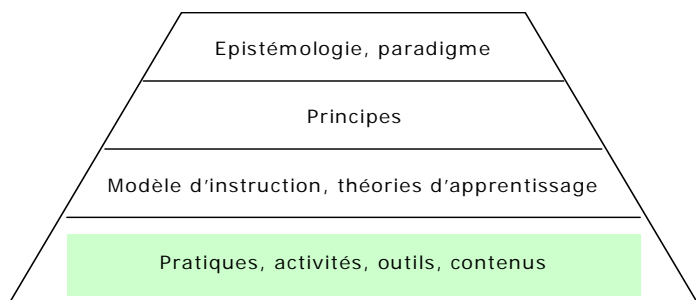


Figure2 : Niveaux d'abstraction dans les démarches d'apprentissage

Le processus est alors souvent représenté par un graphe ET/OU dans lequel les tâches pédagogiques sont identifiées et décomposées. Par exemple, la figure 3 décrit une partie d'un modèle de tâches dans lequel est détaillée la tâche « donner un exercice ».

L'approche orientée ressources considère la démarche d'apprentissage comme un processus de sélection, d'assemblage et de présentation de contenus. Cette approche met l'accent davantage sur la modélisation des contenus que sur celle des processus. Dans les systèmes qui adoptent cette approche, il n'y a pas en général de modélisation explicite des démarches d'apprentissage.

L'approche orientée objectifs considère la démarche d'apprentissage comme un processus de satisfaction d'objectifs pédagogiques. Chaque objectif est associé à un ou plusieurs scénarios permettant de le satisfaire. L'intérêt de cette approche est double, d'abord elle permet la personnalisation puisqu'il autorise différentes manières pour satisfaire un même objectif, ensuite la modélisation orientée objectif favorise une pédagogie centrée sur les besoins des apprenants plutôt que sur des contenus proposés par les tuteurs.

6 LES METHODES ET TECHNIQUES D'ADAPTATION

Un système pédagogique adaptatif met en œuvre des mécanismes qui exploitent la connaissance de domaine, la connaissance sur les apprenants et la connaissance sur les processus d'apprentissage pour offrir des démarches et des contenus pédagogiques personnalisés. Les méthodes et les techniques d'adaptation varient considérablement d'un système à un autre. Nous détaillons ces méthodes et ces techniques dans les deux sections suivantes.

6.1 La facette « méthodes d'adaptation »

Dans les systèmes pédagogiques adaptatifs, l'adaptation proposée peut être plus ou moins « puissante ». Nous proposons de caractériser l'adaptation par un degré d'adaptation et une portée (l'objet de l'adaptation). L'objectif des systèmes pédagogiques adaptatifs est de fournir des parcours adaptés aux apprenants. Nous distinguons trois degrés d'adaptation :

- **Parcours type** : ce sont des parcours prédéfinis à l'avance par le concepteur. Ces parcours types peuvent

être définis selon différents critères, en fonction des connaissances du domaine des apprenants ou en fonction des stratégies pédagogiques souhaitées par les apprenants. Une des difficultés de cette approche est d'identifier les classes d'apprenants, ces classes étant nécessaires pour élaborer les parcours types.

- **Parcours adaptatif** : ce sont des parcours individuels qui s'adaptent à chaque apprenant en fonction de ce qu'il est et non pas de ce qu'il fait. En général, ces parcours sont construits en début de session d'apprentissage à partir des connaissances contenues dans le modèle de l'apprenant.

- **Parcours dynamique** : ce sont des parcours construits dynamiquement, qui s'ajustent à l'apprenant en fonction des actions qu'il accomplit tout au long de son processus d'apprentissage. De tels parcours sont générés et mis à jour au cours de la session d'apprentissage.

Du point de vue "portée" de l'adaptation, nous distinguons quatre formes d'adaptation : l'adaptation de la navigation, l'adaptation du contenu, l'adaptation de la présentation et l'adaptation du processus d'apprentissage.

- **L'adaptation de la navigation** permet l'adaptation dans l'ordonnancement des unités pédagogiques qui vont être présentées à l'apprenant.

- **L'adaptation du contenu** est basée sur la sélection de contenus en fonction des connaissances de l'apprenant sur le domaine.

- **L'adaptation de la présentation** traite de la disposition et de l'aspect visuel. Cette forme d'adaptation exploite certaines préférences de l'apprenant.

- **L'adaptation du processus d'apprentissage** permet la définition de parcours personnalisés en fonction d'objectifs pédagogiques poursuivis par les apprenants. Cette forme d'adaptation utilise la connaissance sur les processus d'apprentissage et les objectifs des apprenants.

6.2 La facette « techniques d'adaptation »

L'adaptation nécessite des mécanismes internes et externes très spécifiques. Au niveau externe, le domaine des systèmes hypermédias adaptatifs propose de nombreuses techniques d'adaptation permettant de présenter un hyperspace de manière personnalisée. Ces techniques d'adaptation largement décrites dans [Brusilovsky 1996a] [Brusilovsky 2001] sont :

- **Guidage direct** : en fonction des objectifs d'un utilisateur, le système définit le lien le plus approprié et le visualise explicitement en changeant par exemple sa couleur.

- **Tri des liens** : cette technique consiste à ordonner les liens en fonction de leur pertinence pour un utilisateur donné. Les liens susceptibles d'intéresser l'utilisateur sont situés en haut de la page pour favoriser leur découverte.

- **Annotation des liens** : le principe de cette technique est de rajouter aux différents liens des commentaires pour indiquer à l'utilisateur le contenu de la page qui est accessible par le lien.

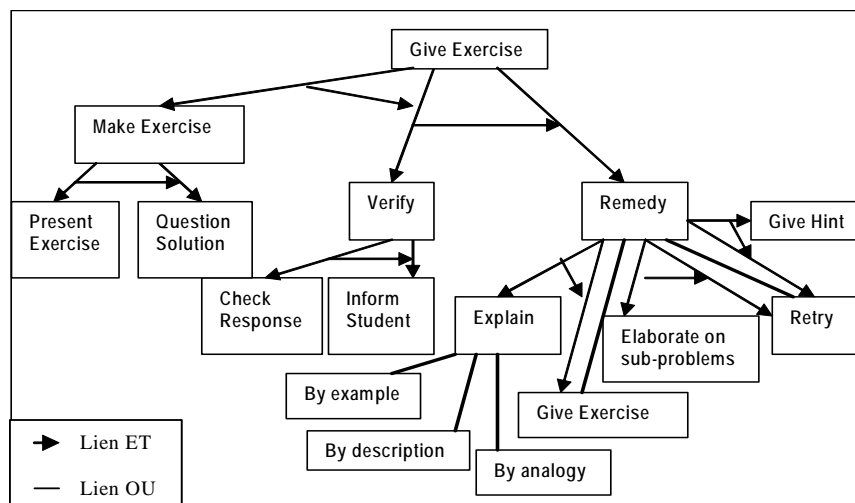


Figure3 : Modèle de tâches « donner un exercice » [Vassileva 1997]

Masquage de lien : cette technique permet de masquer les liens les moins pertinents pour l'utilisateur.

Adaptation de carte : c'est une carte de navigation indiquant la structure hiérarchique du site pour permettre à l'utilisateur de choisir les pages à consulter.

Au niveau interne, les techniques d'adaptation mises en œuvre par les systèmes sont des règles qui exploitent les trois types de connaissances : les connaissances de domaine, les connaissances de l'apprenant et les connaissances d'apprentissage. Dans [Vassileva 1997], on distingue quatre types de *règles d'apprentissage*. Les « *règles d'enseignement* » qui déterminent un parcours d'apprentissage dans l'ensemble des concepts du domaine. Les « *règles de sélection de stratégies* » définissent une stratégie d'apprentissage avant de commencer l'exécution du plan. Par exemple la stratégie « structurée » est proposée par le système comme une approche d'enseignement dans laquelle l'apprenant est complètement guidé ; c'est le système qui détermine les concepts à acquérir et les tâches associées. Les « *règles de sélection de méthodes* » déterminent pour un concept, l'activité pédagogique et une décomposition pour l'apprendre. Ces règles utilisent les tâches déjà effectuées ainsi que les unités déjà utilisées. Les « *règles de sélection des unités pédagogiques* » déterminent l'unité pédagogique à présenter en fonction des préférences de l'apprenant en matière de média.

Dans les approches Web sémantique adaptatif, les règles exploitent les méta-données définies sur les unités pédagogiques. Par exemple, dans le système « Personal Reader » les règles, exprimées avec le langage TRIPLE [Sintek 2002] permettent de raisonner sur les méta-données annotant les ressources pédagogiques. Les règles sont utilisées pour générer le plus souvent des liens personnalisés.

7 ETUDE COMPARATIVE DES APPROCHES

Dans le cadre de cette étude comparative, notre choix s'est porté sur des systèmes qui gèrent (plus ou moins) les trois types de connaissances décrites ci-dessus et qui

mettent en œuvre des règles d'adaptation. Nous avons retenu cinq systèmes (Figure 4) que nous décrivons et analysons.

7.1 Description des systèmes

Les systèmes	Description
ELM-ART [Brusilovsky 1996b]	Il s'agit d'un système hypermédia adaptatif destiné à l'apprentissage du langage LIPS. Il fournit des conclusions personnalisées en utilisant les parcours effectivement réalisés par les apprenants.
INSPIRE [Papanikolaou 2001]	Il permet de générer dynamiquement des cours qui mènent progressivement à l'accomplissement des objectifs choisis par l'apprenant.
KBS Hyperbook [Nedjl 97]; [Henze 2000]	Il s'agit d'un système hypermédia adaptatif. Il permet aux apprenants de déterminer leurs objectifs et leur fournit une aide pour appréhender les différentes connaissances nécessaires pour atteindre leurs objectifs.
Metadyne [Delestre 2000]	Ce système est un hypermédia adaptatif et dynamique dans lequel l'hyper espace est virtuel et les cours sont générés dynamiquement.
Personal Reader [Dolog 2004]	Basé sur le Web sémantique, ce système exploite les méta-données et les ontologies pour générer des structures hypertextes à partir de sources pédagogiques distribuées.

Figure4 : Description des cinq systèmes.

7.2 Analyse des systèmes

Cette section contient des éléments de comparaison (figure5) des cinq systèmes selon les quatre dimensions du cadre de référence.

Les modèles de ressources pédagogiques des systèmes analysés reposent sur une description des contenus à deux niveaux: le niveau logique et le niveau pédagogique. L'existence de ces deux niveaux de représentation constitue un résultat essentiel et acquis dans le domaine. Dans la majorité des systèmes étudiés, la structure logique est un hyperespace composé de nœuds (pages) et de liens hypertextes. La structure pédagogique reste « pauvre » dans la plupart des systèmes. Elle est limitée à une description des concepts du domaine. Peu de systèmes associent dans la structure pédagogique les activités permettant l'apprentissage de ces concepts.

La structure pédagogique prend la forme la plus souvent d'une structure en réseau ou d'une structure en arbre. Dans le cas d'INSPIRE [Papanikalaou, 2001], le niveau pédagogique est représenté par une structure arborescente des concepts. Cette hiérarchie permet à l'apprenant de repérer plus facilement les concepts-clefs nécessaires à l'apprentissage d'un concept donné.

L'acquisition et la gestion du modèle de l'apprenant reposent dans la plupart des systèmes étudiés sur une approche individuelle de modélisation. INSPIRE [Papanikalaou, 2001], à la différence des autres systèmes, introduit une catégorisation des apprenants en stéréotypes (novice, avancé, expert). L'apprenant est donc associé à un stéréotype et dispose des adaptations réalisées pour le stéréotype. Ce manque d'individualisation de l'adaptation est amélioré par le recours à une approche mixte de gestion. Celle-ci consiste à initialiser le modèle apprenant à l'aide d'un stéréotype, puis à l'affiner en fonction des actions de l'apprenant au moyen d'une méthode probabiliste basée sur le modèle bayésien. D'un point de vue des connaissances prises en compte dans le modèle de l'apprenant, les systèmes sont de plus en plus « riches ». Cette évolution est probablement guidée par la mise à disposition sur le Web des ressources pédagogiques. Dans ce nouveau contexte, le modèle de l'apprenant est essentiel pour mettre en œuvre des services d'individualisation. Malgré cette évolution, les préférences des apprenants en termes de *stratégies et de méthodes d'enseignement* sont peu prises en compte dans les modèles de l'apprenant ; ceci constitue un point faible des systèmes actuels.

Le modèle d'apprentissage concerne essentiellement les démarches d'apprentissage mises en œuvre. Peu de systèmes prennent en compte cette dimension ; la démarche pédagogique se limite à des parcours d'unités pédagogiques. Par exemple, le système Metadyne [Delestre 2000] intègre un générateur de cours qui a pour fonction d'assembler et de présenter les cours à l'apprenant. Il applique, dès lors, une approche orientée ressources. Toutefois, certains d'entre eux font appel à une approche orientée activités qui explicite et décompose le processus d'apprentissage en activités simples ou complexes. Le système Personal Reader [Dolog 2004] utilise cette approche.

Les méthodes et techniques d'adaptation utilisées sont centrées essentiellement sur une adaptation de la présentation des contenus et de la navigation à travers ces contenus. Les règles d'adaptation sous-jacentes

utilisent uniquement les connaissances sur la situation de l'apprenant. Il s'agit de règles de filtrage qui permettent de sélectionner les pages à afficher en fonction des pages déjà utilisées. La puissance de ces méthodes est directement dépendante de la richesse des trois modèles précédents. En particulier, l'existence de règles permettant la personnalisation des méthodes d'apprentissage dépend de la formalisation et de la richesse du modèle d'apprentissage.

8 CONCLUSION

L'étude, présentée dans ce papier, aboutit au constat que les systèmes pédagogiques adaptatifs sont fortement centrés sur la gestion de contenus pédagogiques et peu sur les processus d'apprentissage. Le modèle d'apprentissage et l'expression des préférences en matière de pédagogie dans le modèle de l'apprenant sont les points faibles des systèmes actuels. En conséquence, les fonctions d'adaptation se limitent à personnaliser les présentations et les structures de navigation des contenus. La prise en compte des processus pédagogiques constitue un enjeu majeur pour la conception et le développement des nouveaux systèmes pédagogiques adaptatifs. Il s'agit de considérer les activités pédagogiques au même titre que les contenus pédagogiques. En formalisant et en gérant les processus, il devient possible de personnaliser les stratégies et les méthodes pédagogiques. Dans la suite de ce travail de recherche, nous envisageons d'utiliser une approche basée sur les objectifs pédagogiques pour formaliser les démarches pédagogiques. Cette approche présente deux avantages importants, du point de vue de la personnalisation, d'une part, elle favorise un apprentissage centré sur les besoins des apprenants et d'autre part, elle renforce les possibilités d'adaptation puisqu'elle permet d'exprimer différentes façons d'atteindre un même objectif pédagogique, chaque façon correspondant à une stratégie et une méthode pédagogique particulière.

9 REFERENCES ET CITATIONS

- [ADL, 2001] Sharable Content Object Reference Model (SCORM) 2001; www.adlnet.org
- [Allert, 2002] H. Allert, H. Dhraief, W. Nejdl, "How are learning Objects Used in learning Processes?", World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia & Telecommunications, (2002)
- [Benyon, 1993] Benyon D., "Adaptive systems: from intelligent tutoring to autonomous agents", (1993). www.dcs.napier.ac.uk/~dbenyon/IITpaper.pdf
- [Brusilovsky, 1996a] P. Brusilovsky, "Methods and techniques of adaptive hypermedia", dans User Modeling and User Adapted Interaction, vol. 6, N°2-3, p. 87-129 (1996).
- [Brusilovsky, 1996b] P. Brusilovsky, E. Schwarz, G. Weber, "ELM-ART: An intelligent tutoring system on world Wide Web", In Intelligent Tutoring Systems, Lectures Notes in Computer Science, Vol 1086.

Systèmes		ELM ART	INSPIRE	Metadyne	KBS Hyperbook	Personal Reader
Facettes						
Modèle de ressources	<i>Structure logique</i>	Structure en réseau	Structure en arbre	Structure en réseau	Structure en réseau	Structure en réseau
	<i>Structure pédagogique</i>	Modèle de domaine	Méta données	Modèle de domaine	Méta données	Méta données
Modèle de l'apprenant	<i>Nature</i>	Prérequis	Préférences style, niveau de connaissances	Préférences, objectifs, capacités	Prérequis	Profils, intérêts, performances, objectifs, préférences
	<i>Gestion</i>	Statique	Mixte	Mixte	Statique	Statique
Modèle d'apprentissage	<i>Niveau d'abstraction</i>		Modèle opérationnel		Approche constructiviste	
	<i>Modèle de démarches</i>	Orientée activités	Orientée activités	Orientée ressources	Orientée activités	Orientée activités
Méthodes et techniques d'adaptation	<i>Type d'adaptation</i>	Adaptation du contenu	Adaptation de la navigation	Adaptation de la présentation et de la navigation	Adaptation de la navigation	Adaptation de la navigation
	<i>Technique d'adaptation</i>		Règles de sélection des méthodes	Règles de sélection des unités pédagogiques	Règles de sélection des stratégies	Règles de sélection des méthodes

Figure5 : Tableaux comparatifs des cinq systèmes

[Brusilovsky, 2001] P. Brusilovsky, "Adaptive and Intelligent Technologies for Web-based Education", <http://www.kuenstliche-Intelligenz.de/archive/>

[Crozat, 2002] S. Crozat, "Eléments pour la conception industrialisée des supports pédagogiques numériques", Thèse en informatique de l'Université de Technologie de Compiègne (2002).

[Delestre, 2000] N. Delestre, J.-P. Pécuchet, C. Barry-Gréboval, "Why to use a dynamic adaptive hypermedia for teaching, and how to design it?" <http://psimail.insa-rouen.fr/MnemosNet/psipubli.nsf/>

[Dolog, 2004] P. Dolog, N. Henze, W. Nejdl, and M. Sintek, "The personal Reader: Personalizing and Enriching Learning Resources using Semantic Web Technologies". In International Conference on Adaptive Hypermedia and Adaptive Web-based Systems, (2004)

[Duval, 2002] E. Duval, "Normalisation des technologies éducatives : à quoi bon ?", Cinquième Colloque Hypermédiat et apprentissage (2002).

[Halasz, 1994] F. Halasz, M. Schwartz, « the Dexter Hypertext Reference Model », Communications of the ACM, Vol 37, N°2, pp30-39 (1994).

[Henze, 2000] N. Henze, W. Nejdl, "Adaptivity in the KBS Hyperbook System", Proceedings of the 2nd Workshop on Adaptive System and User Modeling on the WWW, (1999).

[IMS, 2002] IMS Global Learning Consortium Inc.: IMS Learning Resources Metadata Specification vol. 1.2.1. www.imsproject.org/metadata/index.html

[LOM, 2002] LOM IEEE Learning Technology Standard Committee (LTSC), Learning Object metadata Group. <http://ltsc.ieee.org/wg12/>

[Nejdl, 1997] W. Nejdl, P. Fröhlich, M. Wolpers, "KBS-Hyperbook: An Open Hyperbook System for Education" <http://www.kbs.uni-hannover.de/Arbeiten/Publikationen/1997/modeling/>

[Papanikalaou, 2001] M. Grigoriadou, K. Papanikalaou, H. Kornilakis, G. Magoulas; "INSPIRE: An INtelligent System for Personalized Instruction in a Remote Environment"; University of Athens, (2001)

[Ragnemalm, 1995] E.L. Ragnemalm, "Towards students modelling through collaborative dialogue with a learning companion", Thèse N °482, Université de Linköping, (1995)

[Rhéaume, 1991] J. Rhéaume, "Hypermédias et stratégies pédagogiques", Premier colloque Hypermédias et Apprentissages, (1991).

[Schneider, 2003] D. Schneider, "Conception et implémentation de scénarios pédagogiques riches avec des portails communautaires", Second Colloque de Guéret, Faculté de Psychologie et des Sciences de l'éducation, (2003).

[Sintek, 2002] M. Sintek, S. Decker, "TRIPLE – an rdf query, inference, and transformation language. In Horrocks, I. and Hendler, J. edidors, Int. Semantic Web Conference (ISWC), pp 364-378, (2002).

[Vassileva, 1997] J. Vassileva, "Dynamic Courseware Generation on the www. Proceedings of the workshop: Adaptive Systems and User Modeling on the World Wide Web." Sixth International Conference on User Modeling (1997).